

公路工程集料压碎值与磨耗值检测质量控制要点

何思军

新疆兵团水科院(有限公司) 新疆 乌鲁木齐 830013

摘要: 集料作为公路工程中最基础、用量最大的原材料之一,其物理力学性能直接关系到路面结构的承载能力、耐久性及行车安全性。压碎值和磨耗值是评价集料抗压碎能力和抗磨损能力的核心指标,广泛应用于沥青混合料、水泥混凝土及基层材料的质量控制中。然而,在实际检测过程中,受设备状态、操作规范、环境条件及人员素质等多重因素影响,检测结果常存在较大离散性,严重影响工程质量判断的准确性。本文系统分析了集料压碎值与磨耗值的定义、试验原理及现行标准要求,深入探讨了影响检测结果的关键因素,并从人员、设备、样品、环境、方法、数据处理等六个维度,提出了全过程、全要素的质量控制要点。研究旨在为检测机构、施工单位及监理单位提供可操作的技术指南,提升检测数据的可靠性与一致性,从而保障公路工程的长期服役性能。

关键词: 公路工程;集料;压碎值;磨耗值;洛杉矶磨耗;质量控制;检测技术

引言

随着我国交通基础设施建设的持续高速发展,对公路工程的质量要求日益提高。作为构成路面结构主体的集料,其质量优劣直接影响道路的使用寿命、行车舒适性与安全性能。在众多集料性能指标中,压碎值(Crushing Value)和磨耗值(Abrasion Value,通常指洛杉矶磨耗值)因其能有效反映集料在荷载作用下的破碎倾向和在摩擦、冲击作用下的磨损特性,被列为关键控制参数,广泛应用于《公路工程集料试验规程》(JTGE42—2005,2023年修订征求意见稿)、《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40)及《公路路面基层施工技术细则》(JTG/TF20)等核心规范中。然而,大量工程实践表明,同一来源集料在不同实验室或不同批次检测中,压碎值与磨耗值结果常出现显著差异。这种“数据漂移”不仅导致合格判定争议,更可能因误判而引发工程质量隐患。究其原因,除集料自身变异性外,检测过程中的系统误差与随机误差是主因。因此,建立科学、严谨、可追溯的质量控制体系,确保检测结果的准确性、重复性与再现性,已成为当前公路工程质量亟待解决的关键问题。

1 压碎值与磨耗值的定义、意义及标准要求

1.1 压碎值

压碎值是指在规定的试验条件下,集料抵抗压碎的能力,以被压碎的细料质量占试验总质量的百分率表示。其试验原理是将一定粒径范围(通常为9.5mm~13.2mm)的干燥集料装入标准圆柱形试模中,在压力机上以规定的速率(如1kN/s)施加荷载至预定值(如400kN),卸载后筛除小于2.36mm的颗粒,计算其质量损失率。压碎值越小,表明集料越坚硬、抗压碎能力越强。该指标主要

用于评价用于沥青面层、基层及底基层的粗集料的强度。例如,《JTGF40》规定,用于高速公路、一级公路沥青面层的粗集料压碎值应不大于26%(玄武岩等坚硬岩石)或28%(其他岩石);用于水泥稳定碎石基层的粗集料压碎值一般要求 $\leq 30\%$ 。

1.2 磨耗值(洛杉矶磨耗值)

洛杉矶磨耗值是衡量集料在模拟行车荷载(摩擦、撞击、碾压)作用下抵抗磨损和破碎能力的指标。试验采用洛杉矶磨耗试验机,将规定质量与粒级的集料与标准钢球一同放入旋转的圆筒内,以规定转速(30~33r/min)旋转规定次数(如500转或1000转),取出试样后筛除小于1.75mm的颗粒,计算其质量损失百分率。洛杉矶磨耗值越低,说明集料越耐磨、越不易破碎。该指标对评估集料在长期交通荷载下的耐久性至关重要。《JTGF40》规定,高速公路、一级公路沥青面层用粗集料的洛杉矶磨耗损失应不大于28%;用于抗滑表层的集料要求更为严格,通常 $\leq 25\%$ 。

2 影响压碎值与磨耗值检测结果的关键因素分析

2.1 样品代表性与制备

若现场取样过程随意,仅从料堆表层或局部区域取样,未遵循四分法或机械缩分原则,则所得样品无法真实反映整批集料的性能特征,导致检测结论失真。此外,压碎值试验对粒径有严格限定,通常要求使用9.5mm至13.2mm的单一级配集料。若筛分不彻底,混入超粒径颗粒,这些大颗粒在压力作用下更容易破碎,从而使压碎值偏高;反之,若混入过多细颗粒,它们会填充颗粒间空隙,提高试样整体密实度,反而使压碎值偏低。同样,洛杉矶磨耗试验对不同粒级组合的总质量有精确要求(如

12.5 ~ 9.5mm粒级需2500g ± 10g), 质量偏差会改变钢球与集料之间的能量传递效率, 进而影响磨耗程度^[1]。烘干环节亦不可忽视, 集料含水率过高会削弱颗粒间的内摩擦力, 降低抗压能力, 导致压碎值虚高; 但过度烘干又可能诱发某些岩石内部微裂纹扩展, 同样干扰测试结果。因此, 必须严格按照标准在105 ± 5℃下烘干至恒重, 并在干燥器中冷却后称量, 以消除水分带来的系统误差。

2.2 试验设备状态

压碎值仪的试筒内径、高度及壁厚必须符合规范要求(如内径152mm, 高127mm), 任何几何尺寸偏差都会改变应力分布; 活塞端面若存在锈蚀、凹陷或不平整, 将导致荷载传递不均, 引发局部应力集中而提前破碎。压力机的量程选择、加载速率控制(通常为1kN/s)及力值精度(误差应 ≤ ± 1%)也必须定期校验, 否则加载过快会使集料来不及完成应力重分布即发生脆性断裂, 结果偏高, 而加载过慢则可能因材料蠕变效应使测得强度偏低。对于洛杉矶磨耗机, 其圆筒内径(711 ± 5mm)、长度(508 ± 5mm)及转速(30 ~ 33r/min)的稳定性直接影响试验的重复性; 钢球的直径(标准为46.8mm)和单个质量(390 ~ 445g)若因长期使用而磨损减小, 将显著降低冲击能量, 导致磨耗值偏低, 造成“虚假合格”。此外, 筛具的精度至关重要, 2.36mm(压碎值)与1.7mm(磨耗值)筛网若孔径超差、筛丝磨损或筛孔堵塞, 将直接影响细料分离的准确性, 进而扭曲最终计算结果。

2.3 操作过程规范性

在压碎值试验中, 试样需分三层装入试筒, 每层用金属棒均匀捣实25次, 以确保密实度一致。若操作者图省事一次性倒入或捣实次数不足, 试样松散, 空隙率大, 受压时颗粒易发生位移和滚动, 导致破碎加剧, 结果偏高; 反之, 过度捣实则可能人为提高初始密实度, 使结果偏低。加载速率的控制同样依赖操作者的规范执行, 手动控制压力机时极易出现速率波动。在洛杉矶磨耗试验中, 钢球与集料的加入顺序、旋转圈数的准确计数、停机后筒内残留粉尘的彻底清理等环节均需严谨对待。若清洗磨耗后试样时未完全去除附着粉尘, 残留细粉会使筛余质量偏大, 导致计算出的磨耗值偏低; 而若清洗后未充分烘干即行称重, 则水分重量会被计入, 同样造成结果失真。这些看似微小的操作细节, 累积起来足以导致检测结论的实质性偏差。

2.4 环境与人为因素

试验环境与人员素质作为软性因素, 对检测质量的影响同样不容小觑。极端高温或高湿环境可能引起压力传感器零点漂移, 或使集料吸湿膨胀, 间接影响测试结

果。试验室若靠近振动源(如重型车辆通道、打桩作业区), 设备基础不稳定, 也会干扰精密仪器的正常工作。更为关键的是人员因素, 检测人员对标准条款的理解深度、操作熟练程度及职业责任心直接决定了试验的规范性。例如, 对筛余物中是否包含片状或针状颗粒的判断, 往往带有主观性; 部分经验不足的人员可能忽略平行试验的重要性, 仅做单次测试便出具报告, 或在平行结果差异较大时未按要求复测, 严重削弱数据的可信度^[2]。因此, 人的因素既是质量控制的难点, 也是提升检测水平的关键突破口。

3 压碎值与磨耗值检测全过程质量控制要点

3.1 人员控制

人员是检测活动的执行主体, 其专业素养与规范意识是质量控制的第一道防线。检测人员必须持证上岗, 并定期参加由权威机构组织的标准更新培训与实操技能考核, 确保其知识体系与行业最新要求同步。在此基础上, 实验室应编制详尽的《压碎值/磨耗值检测作业指导书》, 将标准中的抽象条款转化为具体、可操作的步骤说明, 包括样品处理细节、设备操作流程、异常情况应对措施等, 最大限度减少人为理解偏差。同时, 应建立常态化的内部质控机制, 如定期发放已知性能的盲样(内部质控样)供检测人员测试, 通过比对结果评估其操作稳定性与准确性, 及时发现并纠正系统性偏差。

3.2 设备控制

设备的精准与稳定是获取可靠数据的物质保障。所有关键设备必须建立完整的计量管理档案, 压力机每年至少进行一次全面校准, 加载速率控制模块每半年核查一次; 洛杉矶磨耗机的转速、筒体几何尺寸及钢球规格应每季度检查, 钢球使用达到规定次数(如500次)后强制更换; 筛具则应在每使用50次或每半年进行一次孔径校验, 及时淘汰磨损超标的筛网。日常维护同样重要, 每次试验前应清洁试筒、活塞及磨耗筒内壁, 检查有无变形或锈蚀^[3]。此外, 应引入期间核查机制, 使用标准参考物质(如国家认证的标准砂或已知磨耗值的基准集料)在两次正式校准之间进行性能验证, 确保设备在校准周期内持续处于受控状态。

3.3 样品控制

样品控制贯穿从源头取样到试验前处理的全过程。现场取样必须严格执行《公路工程集料随机取样方法》, 优先采用机械自动取样装置, 若人工取样则需在多个部位、不同深度采集子样, 经充分混合后按四分法缩分, 确保样品的统计代表性。实验室接收后, 应使用振筛机对样品进行充分筛分, 并辅以人工剔除明显风化、软弱

或片状颗粒（若标准允许），确保用于试验的粒级纯净且符合规范要求。烘干环节需在恒温烘箱中进行，直至连续两次称量差值小于0.1%，并在干燥器中冷却至室温后再行称重，避免因吸湿或热胀冷缩引入误差。整个过程应详细记录样品编号、来源、处理步骤及环境参数，实现全链条可追溯。

3.4 方法控制

方法的正确应用是检测合法有效的前提。实验室必须确保所采用的试验方法为国家或行业最新有效版本（如JTGE42—2005及其后续修订文件），并建立标准查新与更新机制，防止使用废止标准。所有检测过程必须详细记录原始数据，包括试验日期、环境温湿度、设备编号、操作人员姓名、加载曲线关键点、磨耗机实际转数、各次称重数值等，形成完整、不可篡改的原始记录。当平行试验结果之间的差值超过标准允许范围（如压碎值 $>2\%$ ，磨耗值 $>2\%$ ）时，不得简单取平均值，而应分析原因并重新取样复测，直至满足重复性要求，方可出具最终结果。

3.5 环境控制

稳定的试验环境是减少外部干扰的重要条件。集料力学性能试验室应配备温湿度监控与调节设备，将温度控制在 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 、相对湿度控制在60%以下，并避免阳光直射精密仪器。压力机与洛杉矶磨耗机等重型设备应安装在独立、稳固的混凝土基础上，并采取必要的隔振措施，远离电梯井、水泵房等振动源^[4]。鉴于洛杉矶磨耗试验会产生大量粉尘，建议在专用通风橱或隔离操作间内进行，既保护操作人员健康，又防止粉尘污染其他试验区域或样品，确保交叉污染风险最小化。

3.6 数据处理与报告控制

数据处理与报告出具检测工作的最终输出环节，其严谨性直接体现机构的专业水准。所有原始数据录入与计算必须实行“检测-校核-批准”三级审核制度，重点核查公式应用是否正确、单位是否统一、数值修约是否符合规范（如压碎值结果精确至0.1%）。有条件的实验室

应开展关键项目的测量不确定度评定，量化结果的可信区间，为工程决策提供更全面的信息。长远来看，应积极推进检测信息化建设，采用LIMS（实验室信息管理系统）自动采集设备输出数据、自动完成计算与修约、自动生成标准化报告，从根本上杜绝手工抄录与计算错误，提升工作效率与数据公信力。

4 结语

本文通过系统分析影响因素，构建了覆盖人员、设备、样品、方法、环境、数据六大维度的全过程质量控制体系，强调标准化、精细化、可追溯化的管理理念。唯有将每一个环节都置于严格的质量控制之下，才能真正发挥这两个指标在保障工程质量中的“守门员”作用。展望未来，随着智能传感、物联网与大数据技术的深度融合，集料检测质量控制将迎来自动化与智能化的新阶段。例如，开发集成高精度力-位移传感器的智能压碎仪，可实时监测加载全过程并自动识别异常破碎模式；利用机器视觉与图像识别技术，可对磨耗后集料的形态、棱角保持率进行客观量化评估；通过区块链技术对检测数据进行分布式存储与加密，可实现全过程数据不可篡改与透明可溯。这些前沿技术的应用，不仅将大幅提升检测效率与客观性，更将为构建“平安百年品质工程”提供坚实、可信的数据基石。

参考文献

- [1]陈林.粗集料压碎值检测准确性的分析研究[J].汽车周刊,2025,(04):229-231.
- [2]魏敏,宋兰平,庄孝敏.粗集料压碎值的方法优化[J].山东交通科技,2021,(06):121-122+128.
- [3]汪海年,雷鸣宇,孔庆鑫,等.粗集料综合形态特征与抗磨耗性能的关联性[J].科学技术与工程,2022,22(18):8056-8063.
- [4]吴建涛,王浩安,黄谷来,等.集料磨耗特性及其对混合料抗滑性能影响研究[J].贵州大学学报(自然科学版),2022,39(01):105-112.